



INFORME DE DETERMINACIÓN DE MINIMO TÉCNICO BESS PSFV SAN ANDRÉS

Informe Técnico

Preparado para:

The logo for 'SDI' is displayed in a bold, orange, uppercase sans-serif font. It is centered within a white rectangular box that has a thin black border.

SDI

Julio - 2024

R 1262-23

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS.....	2
ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS	3
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....	6
REGISTRO DE COMUNICACIONES	7
SECCIÓN PRINCIPAL	8
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Definiciones y nomenclatura	8
2. MARCO NORMATIVO	9
3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.....	9
3.1. Descripción de la planta	13
3.2. Datos de los transformadores de bloque de modulos de inversores del BESS y PSFV San Andres.	18
3.3. Datos del transformador de potencia	19
4. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS.....	19
5. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS	19
6. TOMA DE REGISTROS DE POTENCIA MÍNIMA.....	21
7. MÍNIMO TECNICO BESS MODO CARGA.....	21
7.1. Mínimo técnico a nivel planta	21
7.1.1 Potencia Neta.....	23
7.1.2 Potencia Bruta	23
7.1.3 Potencia de los servicios auxiliares	24
7.1.4 Potencia de pérdidas de la central.....	25
7.1.5 Resumen de resultados	25
8. MÍNIMO TECNICO BESS MODO DESCARGA.....	26
8.1. Mínimo técnico a nivel inversor	26
8.1.1 Potencia Neta.....	27
8.1.2 Potencia Bruta	27
8.1.3 Potencia de los servicios auxiliares	27
8.1.4 Potencia de pérdidas de la central.....	28
8.1.5 Resumen de resultados	29
8.2. Mínimo técnico a nivel planta	29
8.2.1 Potencia Neta.....	31
8.2.2 Potencia Bruta	32
8.2.3 Potencia de los servicios auxiliares	32
8.2.4 Potencia de pérdidas de la central.....	33
8.2.5 Resumen de resultados	34

9. MINIMO TÉCNICO GENERACIÓN DIRECTA	35
10. MINIMO TÉCNICO OPERACIÓN CONJUNTA PSFV + BESS EN MODO CARGA	35
10.1. Resultados obtenidos	35
10.1.1 Potencia Neta	38
10.1.2 Potencia Bruta.....	39
10.1.3 Potencia de los servicios auxiliares.....	39
10.1.4 Potencia de pérdidas de la central.....	40
10.1.5 Resumen de resultados.....	42
11. MINIMO TÉCNICO OPERACIÓN CONJUNTA PSFV + BESS EN MODO DESCARGA	42
11.1. Resultados obtenidos	42
11.1.1 Potencia Neta	45
11.1.2 Potencia Bruta.....	46
11.1.3 Potencia de los servicios auxiliares.....	46
11.1.4 Potencia de pérdidas de la central.....	47
12. CONCLUSIONES	48
ANEXO	50
1. ANTECEDENTES TÉCNICOS, ROUND TRIP EFFICIENCY	50

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla 1. Datos técnicos de los transformadores de bloque BESS.....	18
Tabla 2. Tabla resumen de valores a presentar.....	20
Tabla 3. Mínimo técnico a nivel planta – duración del ensayo.	21
Tabla 4. Potencia Bruta nivel inversor.	23
Tabla 5. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel planta.....	25
Tabla 6. Mínimo técnico a nivel inversor – duración del ensayo.....	26
Tabla 7. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel inversor.....	29
Tabla 8. Mínimo técnico a nivel planta – duración del ensayo.	29
Tabla 9. Resumen de resultados de potencia por inversor. Proceso de descarga.	32
Tabla 10. Resumen de resultados Pbruta por barra.	34
Tabla 11. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel planta.....	34
Tabla 12. Mínimo técnico PSFV + BESS Modo carga.	35

Tabla 13. Resumen de resultados – Mínimo técnico PSFV San Andrés.....	42
Tabla 14. Mínimo técnico PSFV + BESS Modo descarga.	42
Tabla 15. Resumen de resultados – Mínimo técnico PSFV San Andrés.....	48
Tabla 16. Parámetros de Potencia Mínima técnica a nivel inversor.	49
Tabla 17. Parámetros de Potencia Mínima técnica para la central completa.	49
Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque fotovoltaico + BESS.	8
Gráfico 2. Ubicación geográfica del PSFV San Andres.	11
Gráfico 3. Esquema unilineal de la SE San Andres.....	12
Gráfico 4. Curva de capacidad del inversor Sungrow, modelo SC2000UD.	13
Gráfico 5. Esquema unifilar de distribución PSFV + BESS.....	14
Gráfico 6. Esquema de la distribución de las baterías del parque San Andres.	16
Gráfico 7. Imagen del contenedor de baterías.	17
Gráfico 8. Especificaciones técnicas del contenedor de baterías.	17
Gráfico 9. Especificaciones técnicas de los inversores del sistema BESS.....	18
Gráfico 10. Datos técnicos del transformador de potencia.	19
Gráfico 11. Mínimo técnico a nivel planta.....	21
Gráfico 12. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico. Colector 1.....	22
Gráfico 13. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico. Colector 2.....	22
Gráfico 14. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico. Colector 3.....	23
Gráfico 15. Consumo de servicios auxiliares del sistema BESS en condición de mínimo técnico de planta.	24
Gráfico 16. Consumo de servicios auxiliares del sistema de iluminación.....	24
Gráfico 17. Potencia neta en el punto de conexión para operación a mínimo técnico con un inversor en servicio.	26
Gráfico 18. Potencia bruta en el INV #1 para operación a mínimo técnico con un inversor en servicio.....	27
Gráfico 19. Consumo de servicios auxiliares del sistema BESS en condición de mínimo técnico de 1 inversor.....	27
Gráfico 20. Consumo de servicios comunes en condición de mínimo técnico de 1 inversor	28
Gráfico 21. Mínimo técnico a nivel planta.....	30
Gráfico 22. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico. Colector 1.....	30

Gráfico 23. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico. Colector 2.....	31
Gráfico 24. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico. Colector 3.....	31
Gráfico 25. Consumo de servicios auxiliares del sistema BESS en condición de mínimo técnico de planta.	33
Gráfico 26. Consumo de servicios auxiliares del sistema de iluminación	33
Gráfico 27. Potencia neta en el POI.....	35
Gráfico 28. Despacho de inversores del PSFV San Andrés.	36
Gráfico 29. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico conjunto. Colector 1.....	36
Gráfico 30. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico conjunto. Colector 2.....	37
Gráfico 31. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico conjunto. Colector 3.....	37
Gráfico 32. SSAA del BESS	37
Gráfico 33. Servicios de iluminación y comunes.....	38
Gráfico 34. Valores de mínimo técnico declarados para el PSFV.	38
Gráfico 35. Desagregado de los parámetros de mínimo técnico.	38
Gráfico 36. Consumo de servicios auxiliares del sistema BESS en condición de mínimo técnico en modo carga.	40
Gráfico 37. Servicios de iluminación y comunes.....	40
Gráfico 38. Potencia neta en el POI.....	43
Gráfico 39. Despacho de inversores del PSFV San Andrés.	43
Gráfico 40. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico conjunto. Colector 1.....	44
Gráfico 41. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico conjunto. Colector 2.....	44
Gráfico 42. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico conjunto. Colector 3.....	45
Gráfico 43. SSAA del BESS	45
Gráfico 44. Servicios de iluminación y comunes.....	45
Gráfico 45. Consumo de servicios auxiliares del sistema BESS en condición de mínimo técnico en modo descarga.	47
Gráfico 46. Servicios de iluminación y comunes.....	47

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
CNE	Comisión Nacional de Energía
ERNC	Energía Renovables No Convencional
NTSyCS	Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio
NT SSMM	Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio para Sistemas Medianos
PE	Parque Eólico
PSFV	Parque Solar Fotovoltaico
SE	Subestación Eléctrica
AT	Alta tensión
MT	Media tensión
BT	Baja tensión
ONAN	Oil Natural Air Natural
ONAF	Oil Natural Air Forced
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
RCB	Regulador Bajo Carga
PMU	Power Management Unit
BESS	Sistema de Almacenamiento de Energía de Baterías
PV	Campo fotovoltaico

REGISTRO DE COMUNICACIONES

Registro de las actividades, comunicaciones y aprobación de informes.

N°	Fecha dd/mm/año	Preparó	Revisó	Aprobó	Observaciones
0	04/07/2024	SD	FG	FM	Versión Inicial

SECCIÓN PRINCIPAL

1. Introducción

En el presente informe se exhiben los resultados obtenidos en los ensayos de campo realizados en el sistema BESS del Parque Solar Fotovoltaico San Andrés, durante el día 25 y 26 de mayo de 2024 y en una segunda etapa el día 26 de junio de 2024, en relación al proceso de determinación de la potencia mínima técnica de la planta.

1.1. Definiciones y nomenclatura

En el siguiente gráfico se muestra un sistema equivalente de conexión de un parque fotovoltaico y un BESS, el cual nos permite identificar y definir los siguientes elementos:

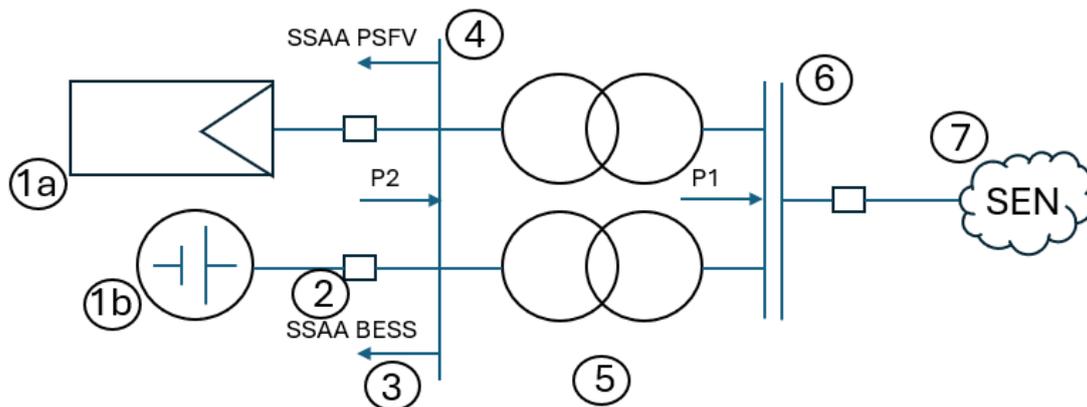


Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque fotovoltaico + BESS.

1a) Generador equivalente PSFV: Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada inversor del PSFV.

1b) Generador equivalente BESS: Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada inversor del BESS.

2) Pérdidas en sistema colector del PSFV y BESS (Pcolector): Corresponde a las pérdidas del sistema colector del PSFV y del BESS, principalmente en cables de baja y media tensión, y en los transformadores colectores que elevan de baja a media tensión.

3) Servicios Auxiliares de la central (SS.AA.BESS y SS.AA.PSFV): Corresponde al consumo de servicios auxiliares de la subestación eléctrica de la planta del PSFV y del BESS sumados a los servicios auxiliares de los inversores.

4) Barra de media tensión (MT): Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder. Se corresponde con una barra simple partida que opera normalmente como simple barra.

5) Transformador de Poder: Equipo elevador presente en la subestación de salida de la planta. Ambos operan normalmente en paralelo

6) Barra de alta tensión (AT): Corresponde a la tensión en el lado de alta tensión del transformador de poder de la planta. En este caso vinculados a la barra B1 de la S/E San Andrés.

8) Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

De acuerdo con las definiciones anteriores se considera la siguiente nomenclatura:

- P1: Potencia activa inyectada en la barra de AT del Parque. Este valor corresponde a la Potencia Neta del Parque (Pneta).
- P2: Potencia activa inyectada en el lado de media tensión del parque.
- Pbruta: Suma de los aportes de potencia activa de los inversores en el lado baja tensión (BT) del parque (en correspondencia con el punto 1 del Gráfico 1).
- Ptrafo: Pérdidas activas en el transformador de potencia del parque.
- Pssa: Potencia de servicios auxiliares del parque.

Pcolector: Pérdidas en el sistema colector del parque (ver punto 2 del Gráfico 1).

2. Marco Normativo

Las pruebas realizadas se programaron en base al ANEXO TÉCNICO de la NTSyCS "Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras". En tal sentido, el valor de Mínimo Técnico se obtiene a partir de registros de operación y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de estas tecnologías, especificándose las metodologías, cálculos y todos los antecedentes y aspectos técnicos usados para la obtención de dicho valor.

Los valores de mínimo técnico se realizaron considerando distintas condiciones operativas del BESS PSFV San Andrés, entre las que se distinguen los siguientes escenarios:

- **Mínimo técnico con el parque totalmente operativo:** Valor de potencia activa mínima bruta con la cual el parque puede operar considerando todos los inversores del sistema BESS y elementos de la red colectora en servicio y en condiciones de operación estable. En esta configuración se considera al sistema BESS en modo descarga y a los inversores correspondientes al campo fotovoltaico pausados.
- **Mínimo técnico considerando para una potencia neta de 0 MW en el punto de conexión:** Valor de potencia activa bruta entregada por un único inversor o un grupo de inversores (con el resto en pausa) que permite entregar una potencia activa neta en el punto de conexión de 0 MW.

La primera condición se determinó para el sistema BESS en modo descarga a la red y la segunda condición (consigna de 0 MW en el POI), se explora para el sistema BESS en modo descarga hacia la red y en modo carga desde el PSFV.

3. Descripción de la planta

El PSFV San Andrés está situado en la región de Atacama, Chile. Esta central basada en tecnología solar fotovoltaica cuenta con una potencia comprometida de 50,6 MW en el punto de conexión (asociada solo al campo PV).

La planta cuenta con 157168 unidades de módulos fotovoltaicos instalados. 35 centros de transformación en los cuales se conectan un inversor que posee entre 5 y 7 convertidores DC/AC, dependiendo el modelo, con una tensión nominal de 330 V, es posible identificar que centros de transformación cuentan inversores de 5, 6 o 7 modulos en el documento adjunto "6.1.4.1.1_EM-10 Unifilar BT DC CN2". Luego de los centros de transformación, se encuentran los correspondientes cables del sistema colector desarrollado en 23 kV, esto es posible observarlo en el documento adjunto "6.1.5.1.1_EM-21 Tendido de MT". Estos cables acometen a dos barras acopladas. Posteriormente, se eleva la tensión mediante dos transformadores idénticos, los cuales operan en paralelo y tienen una relación 23kV/220kV y una potencia nominal de 42 MVA operando ONAF.

La planta incorporó recientemente un sistema de baterías BESS con una capacidad 35 MW, con una duración de 5 horas a máxima carga (175 MWh), además de un sistema de SS/AA incorporado como parte de su topología y equipamiento eléctrico.

El sistema BESS cuenta con 12 centros de transformación formados cada uno por transformadores de unidad de tres devanados de 23/0,8/0,8 kV de 4/2/2 MVA. A cada transformador se conectan dos inversores (cada uno asociado a un módulo de batería) marca Sungrow, modelo SC2000UD, con potencia nominal de 2 MVA y tensión nominal 0,8 kV, por razones de diseño estos inversores están limitados a un máximo de 1,7 MVA para su funcionamiento, por lo que la potencia instalada del sistema BESS es de 40,8 MVA (1,7 MVA x 24). Existen 3 circuitos colectores que colectan la potencia generada por los 12 centros de transformación del sistema BESS y los cuales acometen a las mismas barras de 23 kV asociadas al campo fotovoltaico. Luego los transformadores de potencia son compartidos por el campo fotovoltaico (PV) y por el sistema BESS.

Por razones de diseño el sistema híbrido PV + BESS está pensado para operar realizando la carga del sistema de baterías durante el día desde el campo fotovoltaico, siendo el excedente de energía inyectado a la red; y luego en la noche realizar la descarga del sistema BESS.

El punto de conexión del PV y del BESS es la doble barra de 220 kV de la SE San Andrés.

En el Gráfico 2 se muestra una imagen de la ubicación geográfica de la central. Luego, en el Gráfico 3 se observa un diagrama unifilar de la SE San Andrés, en el cual se puede observar la configuración de conexión de la planta, con sus dos barras de MT acopladas, la conexión de los dos transformadores de potencia en paralelo, y la conexión de los circuitos asociados colectores asociados al PV como al BESS.

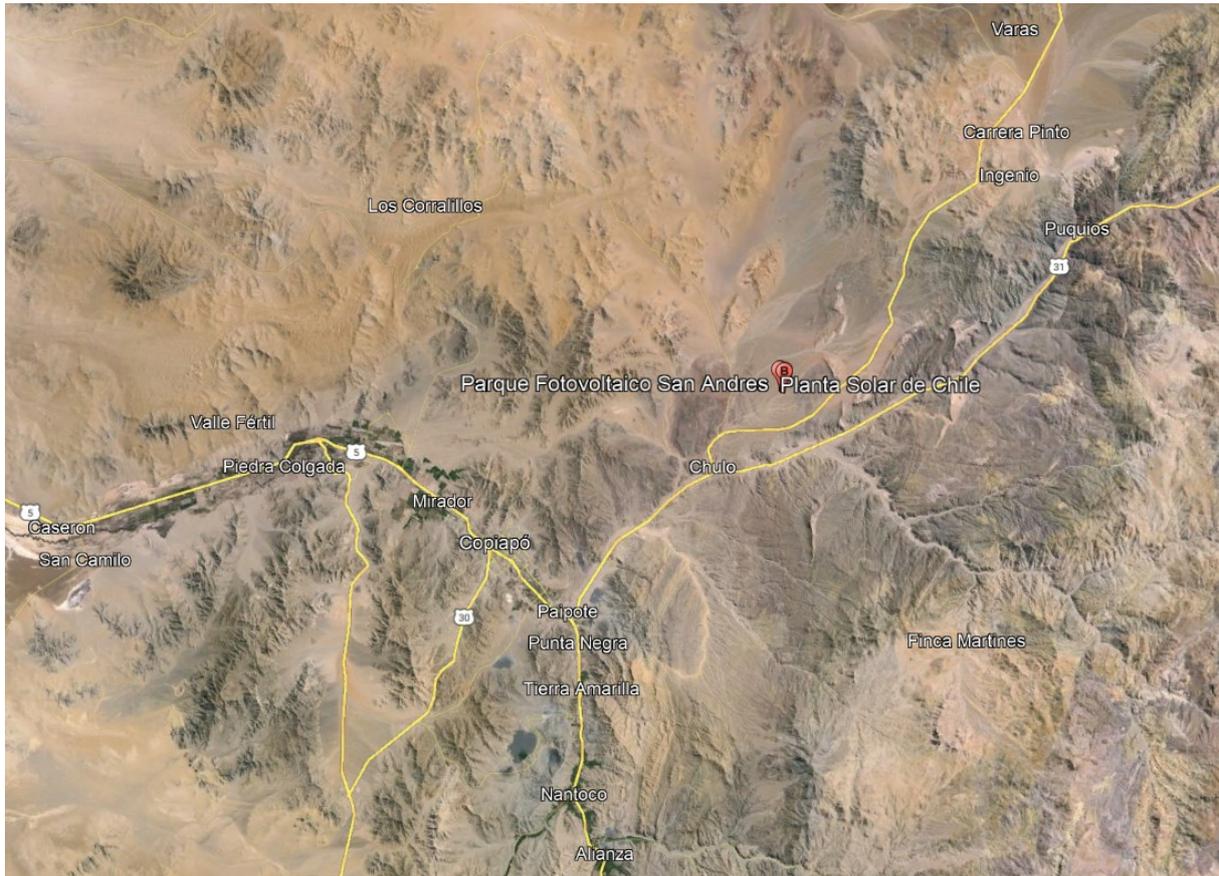


Gráfico 2. Ubicación geográfica del PSFV San Andrés.

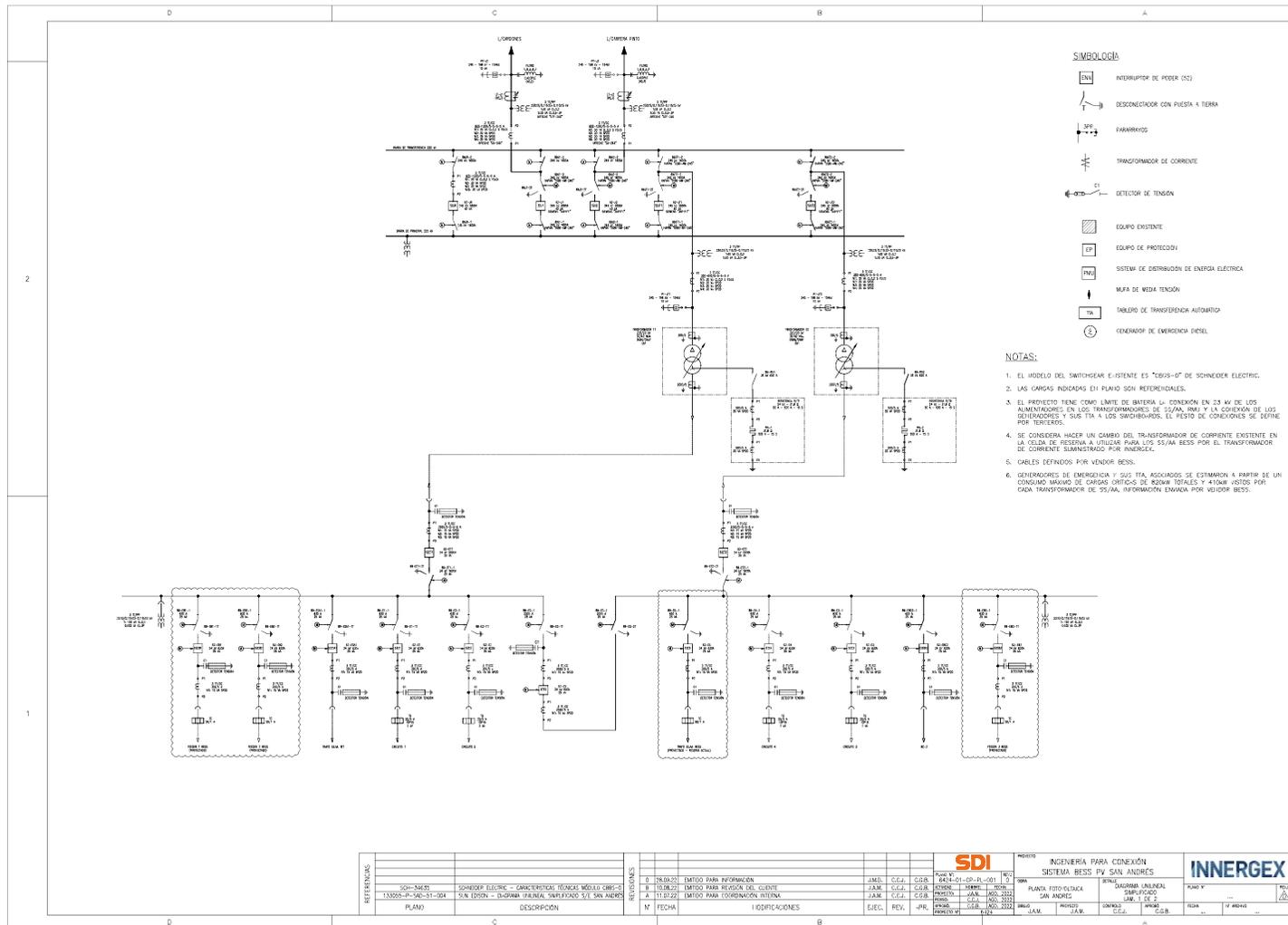


Gráfico 3. Esquema unilínea de la SE San Andrés.

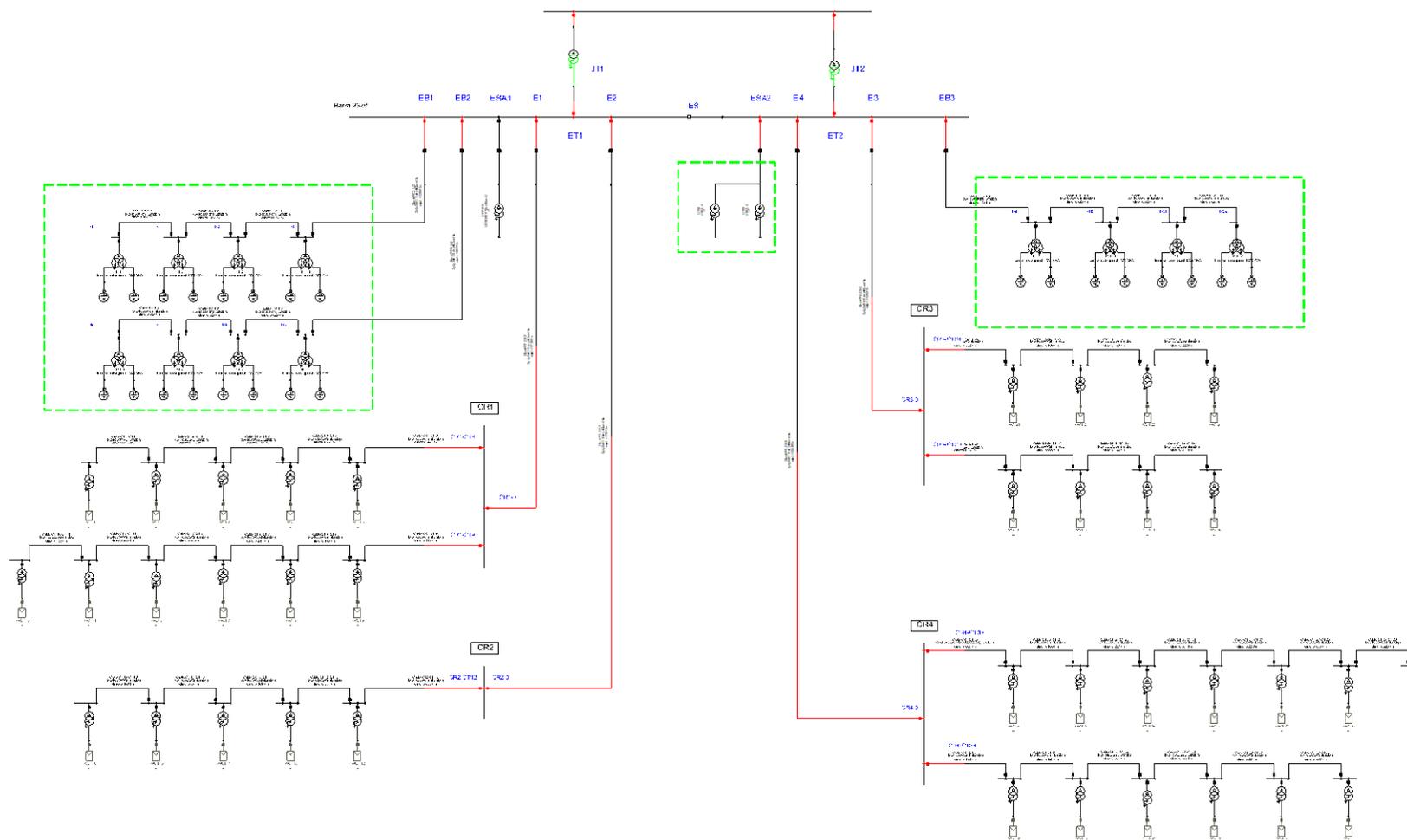
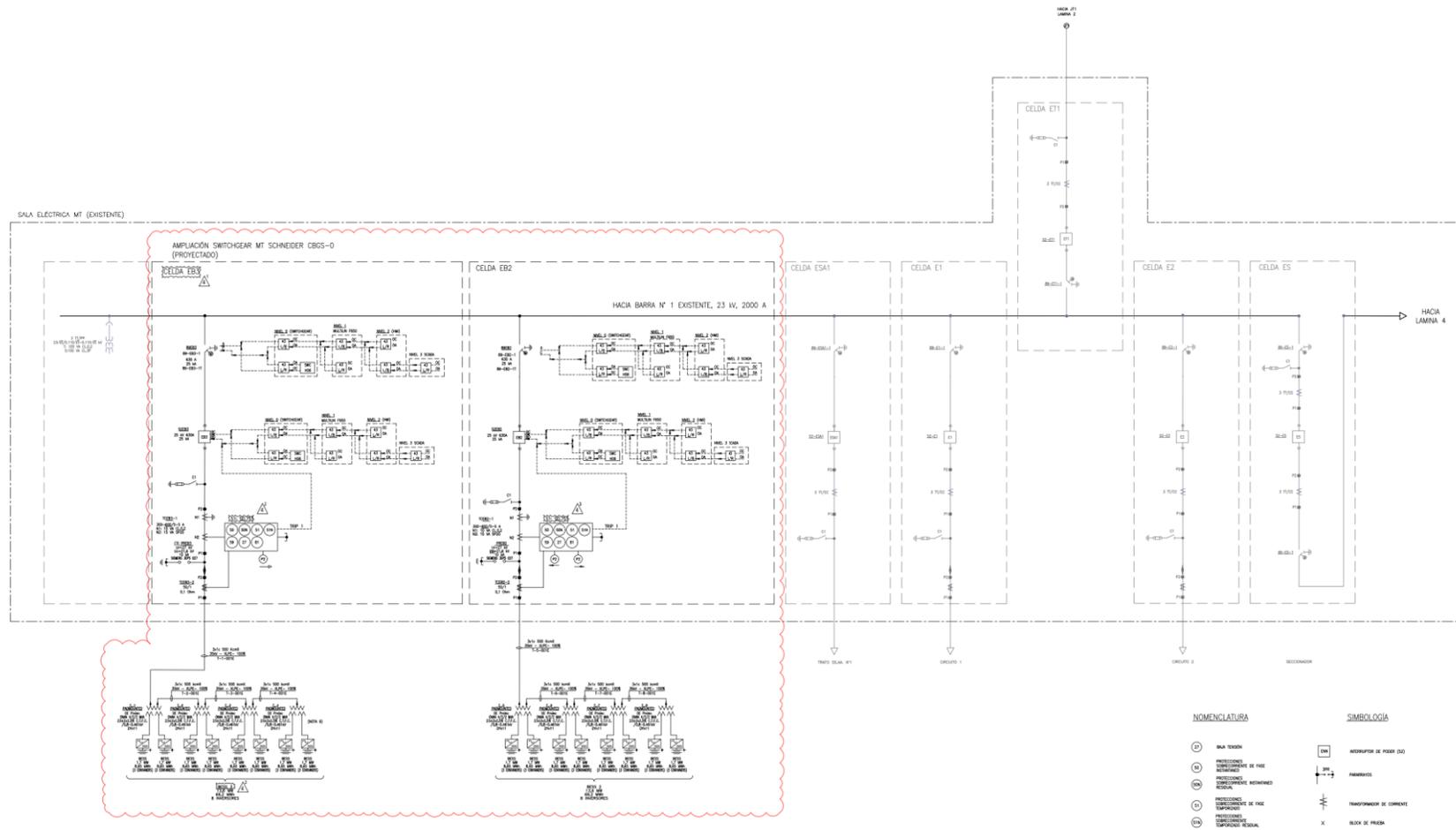


Gráfico 5. Esquema unifilar de distribución PSFV + BESS



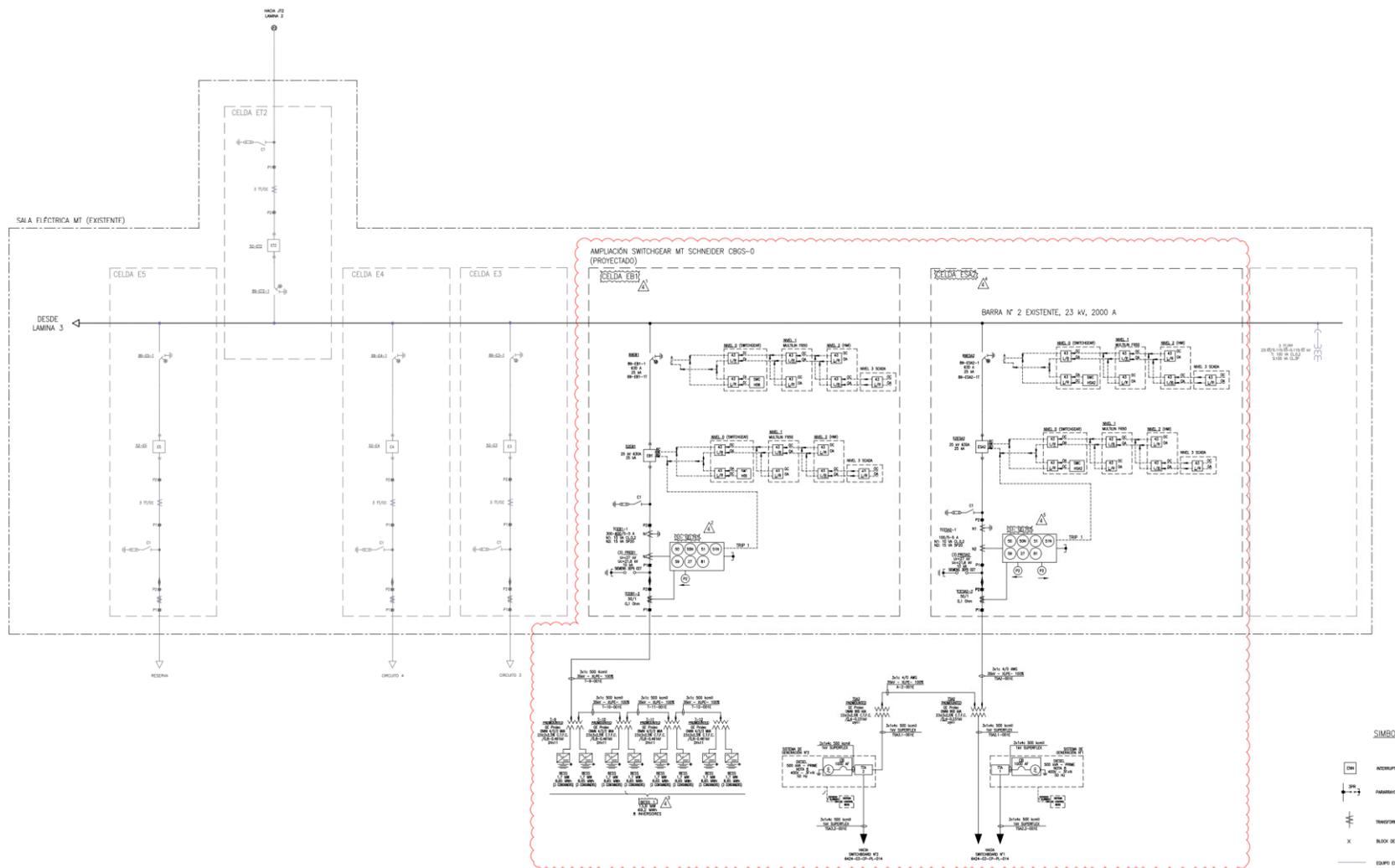


Gráfico 6. Esquema de la distribución de las baterías del parque San Andrés.

En el gráfico siguiente se muestra una imagen del contenedor de baterías:



Gráfico 7. Imagen del contenedor de baterías.

Cada contenedor posee las siguientes características técnicas:

NO.	Items	Parameters	Remark
1	Nameplate energy	8655.4kWh	
2	Max. charge/discharge power	1700kW	DC side
3	Nominal DC voltage	1344V	
4	DC Voltage (Full power)	1197-1491V	
5	Auxiliary power supply	400Vac 50Hz	
6	SOC calculation accuracy	±3%	
7	SOH (End of Life)	60%	
8	Environmental temperature	-10°C~30°C	Depends on the project
9	Environmental humidity	≤95%RH	Non condensation

Gráfico 8. Especificaciones técnicas del contenedor de baterías.

Type Designation	SC2000UD
DC side	
Max. DC voltage	1500 V
Min. DC voltage	1150 V
DC voltage range	1150 – 1500 V
Max. DC current	1952 A
No. of DC inputs	1
AC side (Grid)	
AC output power	2000 kVA @ 45 °C / 2200 kVA @ 30 °C
Max. AC output current	1443 A @ 45 °C / 1587 A @ 30 °C
Nominal AC voltage	800 V
AC voltage range	704 – 880 V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
Harmonic (THD)	< 3 % (at nominal power)
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 1 leading – 1 lagging
Adjustable reactive power range	-100 % – 100 %
Feed-in phases / AC connection	3 / 3
AC side (Off-Grid)	
Nominal AC voltage	800 V
AC voltage range	704 – 880 V
AC voltage Distortion	< 3 % (Linear load)
DC voltage component	< 0.5 % Un (Linear balance load)
Unbalance load Capacity	100 %
Nominal frequency / Frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
Efficiency	
Max. efficiency / European efficiency	99 % / 98.5 %

Gráfico 9. Especificaciones técnicas de los inversores del sistema BESS.

En cuanto a la operación del sistema de baterías, el mismo está pensado para realizar la carga durante el día a partir de la energía producida por el campo fotovoltaico, inyectando el remanente de la producción a la red. Durante la noche se procede a realizar la descarga del sistema BESS.

3.2. Datos de los transformadores de bloque de módulos de inversores del BESS y PSFV San Andres.

La instalación del BESS cuenta con 12 transformadores de bloque que inyectan la potencia generada de los inversores hacia la red colectora de media tensión. Los datos técnicos se detallan a continuación:

Tabla 1. Datos técnicos de los transformadores de bloque BESS.

Parámetros	Valor
Potencia nominal	4/2/2MVA
Tensión nominal MT/BT/BT	23/0,8/0,8 kV
Grupo de conexión	DY0ny0n
Frecuencia nominal	50 hz
Impedancia de sec. positiva	6,03/6,32/11,99%

La instalación del PSFV cuenta con 12 transformadores de bloque que inyectan la potencia generada de los inversores hacia la red colectora de media tensión. Los datos técnicos se detallan a continuación:

3.3. Datos del transformador de potencia

Las características más importantes del transformador de potencia se resumen en el siguiente gráfico:

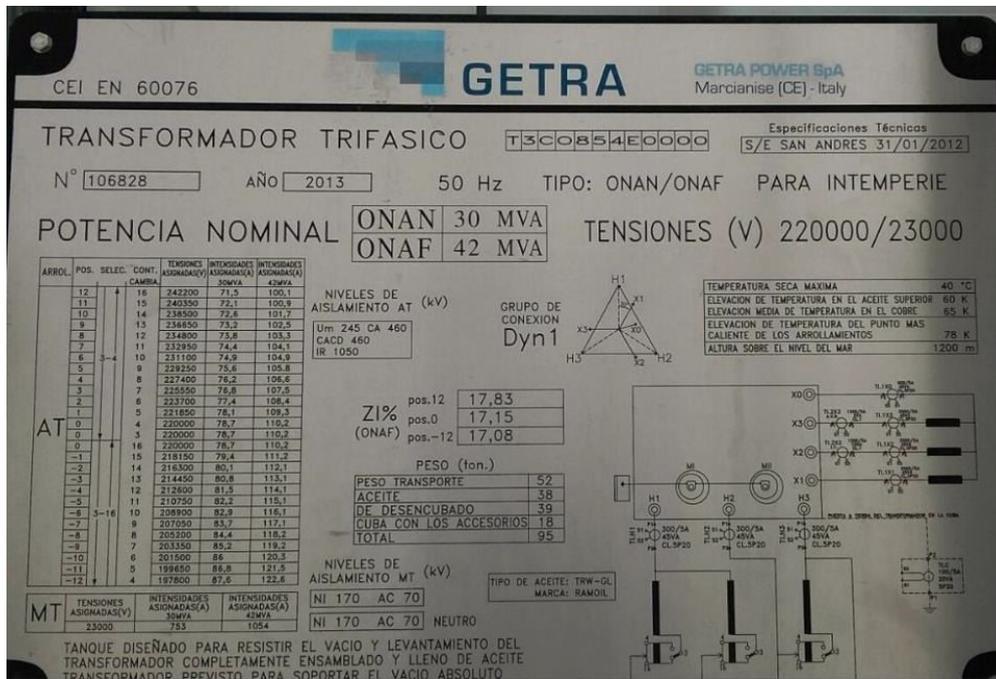


Gráfico 10. Datos técnicos del transformador de potencia.

4. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS

El PSFV San Andrés presentó parámetros de desempeño equivalentes a parques fotovoltaicos de similares características, como los mencionados a continuación¹:

- Parque solar fotovoltaico Meseta de los Andes (mínimo técnico inversor = 0,243 MW).
- Parque solar fotovoltaico Almeyda (mínimo técnico inversor = 0,759 MW).
- Parque solar fotovoltaico Wilka (mínimo técnico inversor = 0,153 MW).

5. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

De acuerdo con el Artículo 4 "Definiciones" del Anexo Técnico, se determinó "la potencia activa bruta mínima, con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al SI en forma continua".

Para el caso del mínimo técnico a nivel planta operando el BESS en modo descarga, se redujo la potencia activa hasta alcanzar el mínimo valor de potencia controlable, tal que

¹ <https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras>

por debajo de ese valor se produce la pausa de alguno o algunos inversores. Una vez alcanzado este valor, se mantuvo la consigna por 28 minutos para verificar la estabilidad de las variables de interés. Cabe aclarar que el PPC del sistema BESS no tiene la capacidad de controlar el pausado de algún inversor o inversores en particular. El PPC envía la consigna solicitada que se reparte entre los inversores y por debajo de un valor determinado algunos inversores en función del comando del PPC elegirán irse a pausa.

Para el ensayo de mínimo técnico a nivel inversor se envió el comando de pausa de todos los inversores de la planta salvo un inversor, al cual se lo despacho de manera tal de alcanzar una inyección en el punto de interconexión (POI) de 0 MW. Se registraron 15 minutos en esta condición para verificar la estabilidad de las variables de interés.

En el caso de generación directa (solo el PSFV) se utiliza la información brindada por el personal del parque, debido a que no se contó con el informe de determinación de mínimo técnico presentado al coordinador, sino la indicación del personal respecto a este valor.

En el caso de operación conjunta se considera el mínimo técnico cuando el sistema BESS se carga desde el PSFV. En este caso se reduce la consigna hasta alcanzar el mínimo valor de operación estable con el sistema BESS cargando desde el PSFV registrando las variables de interés por al menos 15 minutos.

Adicional a lo anterior, cabe aclarar que la operación PSFV + BESS (modo descarga) está contemplada para la obtención del mínimo técnico en dicho estado.

Para cada una de las pruebas, se desglosan los valores de potencia obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 2. Tabla resumen de valores a presentar.

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
BESS PSFV San Andrés (modo carga)				
BESS PSFV San Andrés (Modo descarga)				
PSFV + BESS San Andrés (Modo carga)				
PSFV + BESS San Andrés (Modo descarga)				

(1) **Potencia Bruta:** Corresponde a la suma del aporte de potencia activa de todos los inversores del BESS San Andrés en el lado de BT.

- (2) **SS.AA.:** Corresponde al consumo de servicios auxiliares de la central (Inversores + SSAA del sistema BESS + SSAA del PV).
- (3) **Perdidas en la central:** Corresponde a las pérdidas en el sistema colector de la central (transformadores de bloque de los inversores + circuito colector de MT asociados al sistema BESS).
- (4) **Potencia Neta:** Es la potencia neta inyectada en el POI, que para el caso del PSFV San Andrés es la barra de AT de la SE San Andrés 220 kV.

6. TOMA DE REGISTROS DE POTENCIA MÍNIMA

Para la realización de este ensayo de potencia mínima se emplearon los registros de un equipo registrador instalado en el POI y para la potencia generada por cada inversor y los SSAA del BESS y del PV se emplearon imágenes del sistema SCADA en el momento que se tenía la condición operativa del ensayo.

7. MINIMO TECNICO BESS MODO CARGA

Considerando solo la operación del sistema BESS en modo carga con el PSFV fuera de servicio, se realizan los ensayos de mínimo técnico cuyos resultados se muestran a continuación:

7.1. Mínimo técnico a nivel planta

Para el caso del mínimo técnico a nivel planta, se procedió a reducir la potencia en el punto de conexión hasta alcanzar el mínimo valor estable por encima del cual se pausa algún inversor y se registraron 41 min en esta condición.

En la siguiente tabla se muestra la fecha y hora de realización de esta prueba:

Tabla 3. Mínimo técnico a nivel planta – duración del ensayo.

Fecha	29/05/2024
Inicio de la prueba [hh:mm:ss]	16:33:29
Finalización de la prueba [hh:mm:ss]	17:14:51

En el siguiente gráfico se muestra el resultado de la prueba:

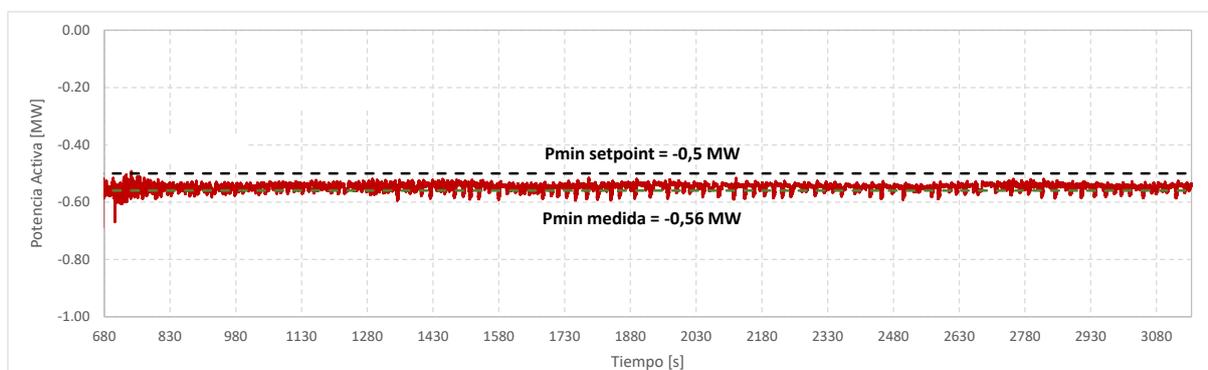


Gráfico 11. Mínimo técnico a nivel planta.



Gráfico 12. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico. Colector 1



Gráfico 13. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico. Colector 2



Gráfico 14. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico. Colector 3.

De lo anterior el mínimo valor de consigna para el cual todos los inversores se mantienen inyectando potencia es de -0,5 MW, con una generación de potencia de los inversores de -0,1625 MW, obtenida de los gráficos 12 a 14 en los cuales se puede observar la potencia entregada por los inversores.

7.1.1 Potencia Neta

Como puede visualizarse en el Gráfico 11 la potencia neta inyectada en el punto de conexión fue de -0,56 MW, por lo tanto:

$$P_{neta} = -0,59 \text{ MW}$$

7.1.2 Potencia Bruta

La potencia bruta se determina a partir de la potencia generada por los inversores (Gráfico 12, Gráfico 13 y Gráfico 14). En la Tabla 4 se puede observar la potencia a nivel inductor registrada.

Tabla 4. Potencia Bruta nivel inductor.

Circuito colector	Inversor	Pbruta [kW]
CC1	ACI1+ACI2	-14,1
	ACI3+ACI4	-11,4
	ACI5+ACI6	-11,7
	ACI7+ACI8	-12,1
CC2	ACI9+ACI10	-11,8
	ACI11+ACI12	-11,8
	ACI13+ACI14	-12,1
CC3	ACI15+ACI16	-12,5
	ACI17+ACI18	-15,3

	ACI19+ACI20	-17,4
	ACI21+ACI22	-14,8
	ACI23+ACI24	-17,5
Pbruta inv		-162,5

$$P_{bruta} = P_{inv_1} + P_{inv_2} + \dots + P_{inv_{32}}$$

$$P_{bruta} = -0,1625 \text{ MW}$$

7.1.3 Potencia de los servicios auxiliares

La potencia de Servicios Auxiliares para esta condición operativa corresponde al valor observado durante las pruebas de los SSAA del BESS:

$$P_{SSAA} = +P_{SSAA \text{ BESS}}$$

Para el consumo de los servicios auxiliares del sistema BESS se observó el valor dado por el PPC como se muestra en el siguiente gráfico:



Gráfico 15. Consumo de servicios auxiliares del sistema BESS en condición de mínimo técnico de planta.

Para el consumo de los servicios auxiliares del sistema de iluminación general:



Gráfico 16. Consumo de servicios auxiliares del sistema de iluminación

$$P_{SSAA \text{ BESS}} = 0,315 \text{ MW}$$

7.1.4 Potencia de pérdidas de la central

La expresión para el cálculo de la potencia de pérdidas de la central se muestra a continuación:

$$P_{perd\ central} = P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA}$$

$$P_{perd\ central} = -0,1625\ MW - (-0,56\ MW) - 0,3150\ MW$$

$$P_{perd\ central} = 0,0825\ MW$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal (Ptrrafo).
- Pérdidas en la red colectora de MT (Pcolector).

Para obtener las perdidas en el colector se cuenta con el registro de la potencia en los extremos de los colectores, con lo cual, restando la potencia a nivel transformadores de bloque (TRB en el Gráfico 14 como indicativo) y la potencia inyectada en la barra de 23kV (Pcolectores) se puede obtener que:

Colector	Pbruta en Barra 23kV [kW]
CC1	70
CC2	70
CC3	70
P bruta colector	210

$$P_{perd\ colector} = P_{bruta} - P_{bruta\ colector}$$

$$P_{perd\ colector} = -0,1625\ MW - (-0,210\ MW)$$

$$P_{perd\ colector} = 0,0475\ MW$$

Con lo cual la potencia atribuible a las perdidas en el transformador de potencia que se encontraba en servicio durante las pruebas es:

$$P_{perd\ traf0} = 0,035\ MW$$

7.1.5 Resumen de resultados

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes y los registros operacionales, a continuación, se muestra el resumen de resultados:

Tabla 5. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel planta.

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
BESS PSFV San Andrés (carga)	-0,165	0,315	0,0825	-0,56

8. MÍNIMO TÉCNICO BESS MODO DESCARGA

Considerando solo la operación del sistema BESS en modo descarga con el PSFV fuera de servicio, se realizan los ensayos de mínimo técnico cuyos resultados se muestran a continuación:

8.1. Mínimo técnico a nivel inversor

Con un único inversor en funcionamiento (el resto en pausa con comando enviado desde el PPC) se despacha el mismo desde el control de planta de la central tal que la potencia en el punto de conexión sea de 0 MW. En la siguiente tabla se muestra la fecha y hora de realización de esta prueba:

Tabla 6. Mínimo técnico a nivel inversor – duración del ensayo.

Fecha	01/02/2024
Inicio de la prueba [hh:mm:ss]	18:00:00
Finalización de la prueba [hh:mm:ss]	18:41:00

Para una consigna de 0 MW en el punto de conexión el inversor INV #1 quedó alimentando las pérdidas de la central y los SSAA. En el siguiente grafico se muestra el resultado de la prueba:

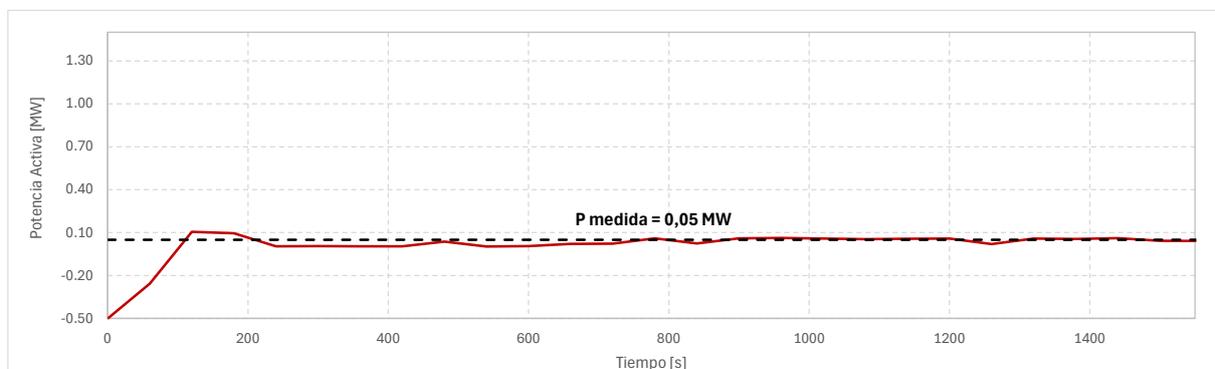


Gráfico 17. Potencia neta en el punto de conexión para operación a mínimo técnico con un inversor en servicio.



Gráfico 18. Potencia bruta en el INV #1 para operación a mínimo técnico con un inversor en servicio.

8.1.1 Potencia Neta

Como puede visualizarse en el Gráfico 17 la potencia neta inyectada en el punto de conexión fue de 0,05 MW, por lo tanto:

$$P_{neta} = 0,05 \text{ MW}$$

8.1.2 Potencia Bruta

Como se comentó anteriormente, para la condición operativa de la prueba, solo un inversor quedó en funcionamiento y generando una potencia promedio de 541,1 kW (mostrado en el Gráfico 18). Este valor está medido en bornes del INV #1, por lo que ya está contado el consumo de SSAA del inversor. De lo anterior la potencia bruta será:

$$P_{bruta} = 0,5411 \text{ MW}$$

8.1.3 Potencia de los servicios auxiliares

La Potencia de Servicios Auxiliares para esta condición operativa corresponde a la suma de los consumos propios del sistema BESS, como así de los servicios comunes. Los SSAA asociados al PSFV se encontraban fuera de servicio:

$$P_{SSAA} = P_{SSAA \text{ BESS}}$$



Gráfico 19. Consumo de servicios auxiliares del sistema BESS en condición de mínimo técnico de 1 inversor.

Del gráfico anterior la potencia consumida por el sistema BESS para las condiciones operativas del ensayo queda determinada como sigue:

$$P_{SSAA\ BESS} = 0.1720\ MW$$



Gráfico 20. Consumo de servicios comunes en condición de mínimo técnico de 1 inversor

Del gráfico anterior la potencia consumida por el PV, para el funcionamiento de un solo inversor del sistema BESS, es la siguiente:

$$P_{SSAA\ BESS} = 0,2046\ MW$$

8.1.4 Potencia de pérdidas de la central

La potencia de pérdidas de la central se obtiene como la suma de las pérdidas del transformador de potencia de la central y las pérdidas en el sistema colector de media tensión (cables MT + transformadores de bloque de inversores).

Además, debe descontarse el consumo de los SSAA. La expresión para el cálculo de la potencia de pérdidas de la central se muestra a continuación:

$$P_{perd\ central} = P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA}$$

$$P_{perd\ central} = 0,5411\ MW - 0,05\ MW - 0.2024\ MW$$

$$P_{perd\ central} = 0.2887\ MW$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal (Ptrrafo).
- Pérdidas en el sistema colector (Pcolector).

$$P_{perd\ central} = P_{colector} + P_{trafo}$$

En función de lo observado en el Gráfico 18, se puede estimar las pérdidas del sistema colector (incluyendo transformador de bloque) a la diferencia entre las mediciones de la salida del inversor frente a la medición de potencia de acometida a la barra de 23 kV.

$$P_{colector} = 0,021 \text{ MW}$$

Con lo cual, la potencia de pérdida del transformador de potencia será de:

$$P_{trafo} = P_{perd \text{ central}} - P_{colector}$$

$$P_{trafo} = 0,2887 \text{ MW} - 0,021 \text{ MW}$$

$$P_{trafo} = 0,2826 \text{ MW}$$

8.1.5 Resumen de resultados

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes y los registros operacionales, a continuación, se muestra el resumen de resultados:

Tabla 7. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel inversor.

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
BESS PSFV San Andrés (Modo Descarga)	0,5411	0,2024	0,2887	0,05

8.2. Mínimo técnico a nivel planta

Para el caso del mínimo técnico a nivel planta, se procedió a reducir la potencia en el punto de conexión hasta alcanzar el mínimo valor estable por encima del cual se pausa algún inversor y se registraron 25 min en esta condición.

En la siguiente tabla se muestra la fecha y hora de realización de esta prueba:

Tabla 8. Mínimo técnico a nivel planta – duración del ensayo.

Fecha	29/05/2024
Inicio de la prueba [hh:mm:ss]	20:20:29
Finalización de la prueba [hh:mm:ss]	20:45:31

En el siguiente gráfico se muestra el resultado de la prueba:

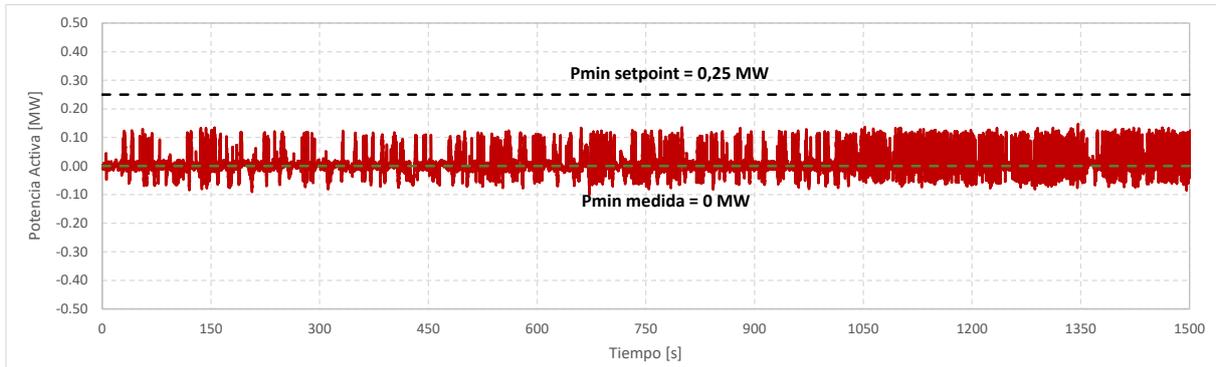


Gráfico 21. Mínimo técnico a nivel planta.



Gráfico 22. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico. Colector 1



Gráfico 23. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico. Colector 2



Gráfico 24. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico. Colector 3.

De lo anterior el mínimo valor de consigna para el cual todos los inversores se mantienen inyectando potencia es de 0,25 MW, con una generación de potencia de los inversores de 0,3669 MW.

8.2.1 Potencia Neta

Como puede visualizarse en el Gráfico 21 la potencia neta inyectada en el punto de conexión fue de 0,0 MW, por lo tanto:

$$P_{\text{neta}} = 0,0 \text{ MW}$$

8.2.2 Potencia Bruta

La potencia bruta se determina a partir de la potencia generada por los inversores como se puede observar en el Gráfico 22, Gráfico 23 y Gráfico 24. En la siguiente tabla se puede observar la suma de potencias.

Tabla 9. Resumen de resultados de potencia por inversor. Proceso de descarga.

Circuito colector	Inversor	Pbruta [kW]
CC1	ACI1+ACI2	29,9
	ACI3+ACI4	33,6
	ACI5+ACI6	28,3
	ACI7+ACI8	34,3
	ACI9+ACI10	32,6
CC2	ACI11+ACI12	32,2
	ACI13+ACI14	32,1
	ACI15+ACI16	38,2
	ACI17+ACI18	31,7
CC3	ACI19+ACI20	37,6
	ACI21+ACI22	34,2
	ACI23+ACI24	40,4
Pbruta		366,9

$$P_{bruta} = P_{inv_1} + P_{inv_2} + \dots + P_{inv_{24}}$$

$$P_{bruta} = 0,3669 \text{ MW}$$

8.2.3 Potencia de los servicios auxiliares

La potencia de Servicios Auxiliares para esta condición operativa corresponde al valor observado durante las pruebas de los SSAA del BESS:

$$P_{SSAA} = +P_{SSAA \text{ BESS}}$$

Para el consumo de los servicios auxiliares del sistema BESS se observó el valor dado por el PPC como se muestra en el siguiente gráfico:



Gráfico 25. Consumo de servicios auxiliares del sistema BESS en condición de mínimo técnico de planta.

Para el consumo de los servicios auxiliares del sistema de iluminación general:



Gráfico 26. Consumo de servicios auxiliares del sistema de iluminación

$$P_{SSAA\ BESS} = 0,1172\ MW$$

8.2.4 Potencia de pérdidas de la central

La expresión para el cálculo de la potencia de pérdidas de la central se muestra a continuación:

$$P_{perd\ central} = P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA}$$

$$P_{perd\ central} = 0,3669\ MW - (0,0\ MW) - 0,1172\ MW$$

$$P_{perd\ central} = 0,2497\ MW$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal (P_{trafo}).
- Pérdidas en la red colectora de MT ($P_{colector}$).

Para obtener las pérdidas en el colector se cuenta con el registro de la potencia en los extremos de los colectores, con lo cual, restando la potencia a nivel transformadores de bloque y la potencia inyectada en la barra de 23kV ($P_{colectores}$) se puede obtener que

Tabla 10. Resumen de resultados Pbruta por barra.

Colector	Pbruta en Barra 23kV [kW]
CC1	120
CC2	110
CC3	120
P bruta colector	210

$$P_{\text{perd colector}} = P_{\text{bruta}} - P_{\text{bruta colector}}$$

$$P_{\text{perd colector}} = 0,3669 \text{ MW} - 0,210 \text{ MW}$$

$$P_{\text{perd colector}} = 0,1569 \text{ MW}$$

Con lo cual la potencia atribuible a las pérdidas en el transformador de potencia que se encontraba en servicio durante las pruebas es:

$$P_{\text{perd TR}} = 0,0928 \text{ MW}$$

8.2.5 Resumen de resultados

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes y los registros operacionales, a continuación, se muestra el resumen de resultados:

Tabla 11. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel planta.

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
BESS PSFV San Andrés	0,3669	0,1172	0,2497	0,0

Como se puede verificar en las dos subsecciones de la sección 8, la potencia bruta generada por un solo inversor es mayor frente a la potencia bruta generada por el total de inversores. Esto es lo registrado por los equipos de la planta y se considera como válido. La notoria discrepancia entre los valores se debe a la controlabilidad que puede resultar de un solo inversor controlando potencia frente a todos los inversores controlando. Un solo inversor llevando las pérdidas de su colector, su transformador de bloque y el transformador de potencia, mas todos los auxiliares resultó en una inyección no nula de potencia en el POI y una evidente necesidad de suplir todos los auxiliares. Así mismo, como puede observarse, los servicios auxiliares del BESS durante el intervalo de ensayos a nivel inversor, fueron mucho más elevados que los valores registrados en mínimo técnico a nivel parque, esto se debe a procesos de los que este consultor no tiene constancia, pero que evidentemente incrementaron la potencia de SSAA. En relación con esto último, las pérdidas en la central también resultaron inferiores en el ensayo a nivel parque. Estos factores contribuyen a que la potencia bruta despachada por un solo inversor sea mayor a la del conjunto.

9. MINIMO TÉCNICO GENERACIÓN DIRECTA

En función de lo expresado en el informe de mínimo técnico del PSFV San Andres, e considerado este valor como 0,8 MW. El mínimo técnico es verificable en las pruebas realizadas en modo conjunto con el BESS, ya que se ha alcanzado.

10. MINIMO TÉCNICO OPERACIÓN CONJUNTA PSFV + BESS EN MODO CARGA

10.1. Resultados obtenidos

El ensayo se realizó de forma tal en la que se alcanzaran simultáneamente los dos mínimos técnicos, tanto el del parque solar como del BESS. El mínimo técnico declarado para el PSFV es de 0,8 MW en el POI con el BESS sin inyectar o absorber potencia activa, con lo cual se ajustó en primera instancia el setpoint manual a nivel inversor del parque para alcanzar este mínimo técnico, ya que de forma convencional en el SCADA de planta el mínimo setpoint admisible es de 4 MW (por una limitación de la programación). Alcanzado el despacho de 0,8 MW del PSFV, se procedió a dar consigna al BESS de -0,5 MW, valor en el cual se alcanzó el mínimo técnico estable en modo carga.

En la siguiente tabla se muestra la fecha y hora de realización de esta prueba:

Tabla 12. Mínimo técnico PSFV + BESS Modo carga.

Fecha	25/06/2024
Inicio de la prueba [hh:mm:ss]	14:24:16
Finalización de la prueba [hh:mm:ss]	15:11:46

En el siguiente gráfico se muestra el resultado de la prueba:

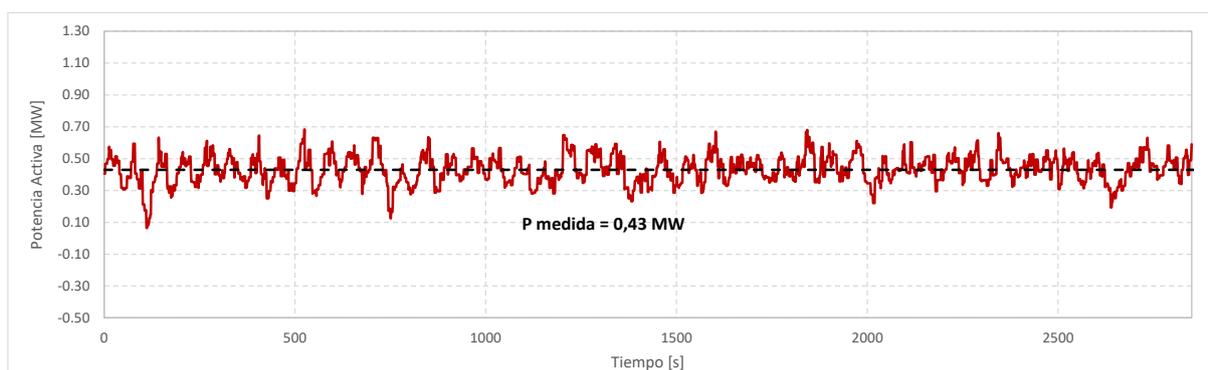


Gráfico 27. Potencia neta en el POI.

En el Gráfico 28 se puede observar la potencia seteada en los inversores del PSFV en [%] para poder alcanzar el mínimo técnico declarado de 0,8 MW.

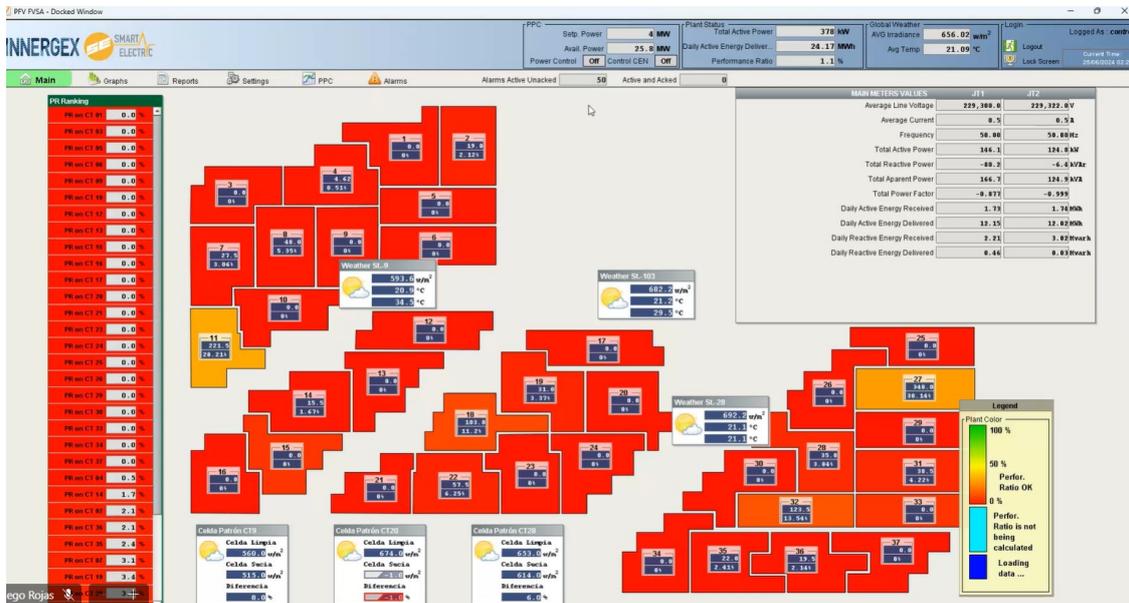


Gráfico 28. Despacho de inversores del PSFV San Andrés.

Adicionalmente en el Gráfico 29 al Gráfico 31 se pueden observar los despachos de los inversores del BESS San Andres durante las pruebas.



Gráfico 29. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico conjunto. Colector 1.



Gráfico 30. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico conjunto. Colector 2.



Gráfico 31. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico conjunto. Colector 3.



Gráfico 32. SSAA del BESS

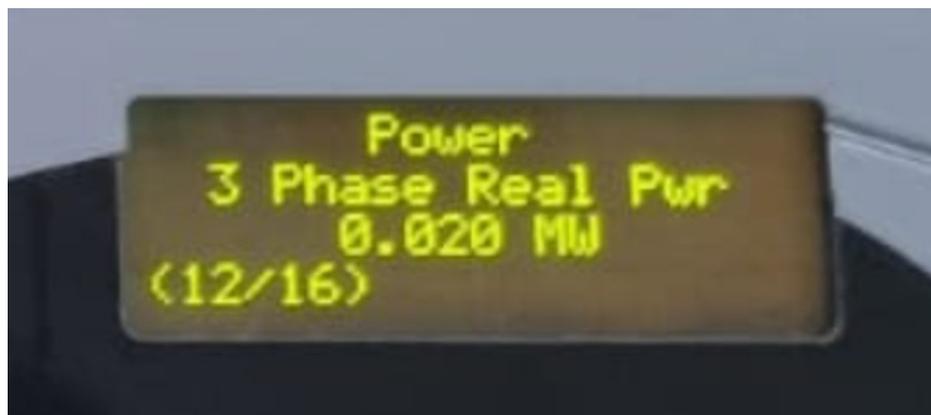


Gráfico 33. Servicios de iluminación y comunes.

La potencia de servicios auxiliares correspondiente al PSFV no se tiene como registro, debido a que no es visible en el SCADA y no se tiene acumulado de dichos datos en registros de operación, se considera para contemplar los SSAA entonces los valores validados por la carta "DE 05519-18" que acepta los parámetros asociados a la operación de mínimo técnico según el informe de ensayos "Informe mínimo técnico planta solar San Andres spa". Dichos valores son los que se observan en el Gráfico 34.

Tabla 1: Mínimo Técnico de la central Fotovoltaica Solar San Andrés

Central	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central ¹ [MW]	Potencia Mínima Neta ² [MW]
Solar San Andrés	1,2	0,27	0,15	0,8

Gráfico 34. Valores de mínimo técnico declarados para el PSFV.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
P1	0,8	MW
P2	1,1	MW
Ptrafo	45	kW
SS.AA.	270	kW
Pcolector	105	kW

Gráfico 35. Desagregado de los parámetros de mínimo técnico.

10.1.1 Potencia Neta

Como puede visualizarse en el Gráfico 27 la potencia neta inyectada en el punto de conexión fue de 0,43 MW, por lo tanto:

$$P_{neta} = 0,4300 \text{ MW}$$

10.1.2 Potencia Bruta

Al no poseer medición de potencia de los inversores (solo se conocen porcentajes de operación de los que no tenían inconvenientes de comunicación), se procederá a considerar la potencia bruta de lo garantizado por el informe de mínimo técnico del parque, en el Gráfico 34 se ve que la potencia inyectada en el POI como mínimo técnico del parque y en los inversores, inyectando es de:

$$P_{bruta_{PV}} = 1,2000 \text{ MW}$$

En cambio, la potencia bruta del BESS se obtiene como la sumatoria de la potencia individual del sistema de colectores del BESS en su extremo de CTs. Esta potencia si fue registrada (Gráfico 29, Gráfico 30 y Gráfico 31) y suma un total de:

Circuito colector	Inversor	Pbruta [kW]
CC1	ACI1+ACI2	-28,8
	ACI3+ACI4	-26,4
	ACI5+ACI6	-27,7
	ACI7+ACI8	-26,6
	ACI9+ACI10	-27
CC2	ACI11+ACI12	-27,1
	ACI13+ACI14	-24,3
	ACI15+ACI16	-28,3
	ACI17+ACI18	-26,5
CC3	ACI19+ACI20	-26,4
	ACI21+ACI22	-28,8
	ACI23+ACI24	-26,5
Pbruta		324,4

$$P_{bruta_{BESS}} = P_{col_1} + P_{col_2} + P_{col_{24}} = -0,3244 \text{ MW}$$

La potencia bruta del conjunto está dada por:

$$P_{bruta} = P_{bruta_{PV}} + P_{bruta_{BESS}} = 1,2000 \text{ MW} - 0,3244 \text{ MW}$$

$$P_{bruta} = P_{bruta_{PV}} + P_{bruta_{BESS}} = 0,8756 \text{ MW}$$

10.1.3 Potencia de los servicios auxiliares

La potencia de Servicios Auxiliares para esta condición operativa corresponde al valor observado durante las pruebas de los SSAA tanto de los PV como del BESS:

$$P_{SSAA} = P_{SSAA_{PV}} + P_{SSAA_{BESS}}$$

Para el consumo de los servicios auxiliares del sistema BESS se observó el valor dado por el PPC como se muestra en el siguiente gráfico:



Gráfico 36. Consumo de servicios auxiliares del sistema BESS en condición de mínimo técnico en modo carga.

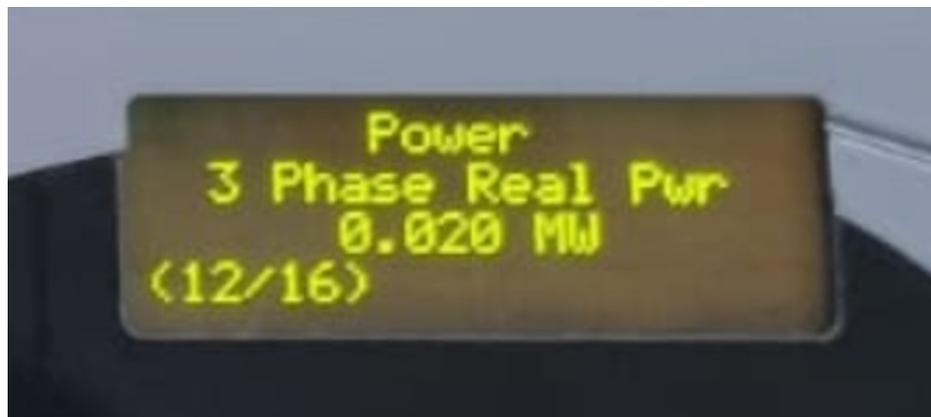


Gráfico 37. Servicios de iluminación y comunes.

En consumo de auxiliares del PSFV se considera de 270 kW como se comentó en el apartado anterior.

$$P_{SSAA\ pfv+bess} = 0,4272\ MW$$

10.1.4 Potencia de pérdidas de la central

La expresión para el cálculo de la potencia de pérdidas de la central se muestra a continuación:

$$P_{perd\ central} = P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA}$$

$$P_{perd\ central} = 0,8756\ MW - 0,43\ MW - 0,4272\ MW$$

$$P_{perd\ central} = 0,0184\ MW$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal (P_{trafo}).
- Pérdidas en la red colectora de MT ($P_{colector}$).

Considerando las pérdidas del colector como la suma de las perdidas en los colectores del sistema BESS y del PSFV (cada cual, con su dirección de flujo correspondiente, puesto que el BESS se encontró en modo carga por lo tanto tomando potencia de la red y el PSFV inyectando potencia a la red)

$$P_{\text{perd.colector}} = P_{\text{perd.colector}_{\text{PSFV}}} + P_{\text{perd.colector}_{\text{BESS}}}$$

Así mismo, las pérdidas en el transformador de potencia resultan:

$$P_{\text{perd.trafo}} = P_{\text{perd central}} - P_{\text{perd.colector}}$$

Como no fue posible obtener mediciones directas precisas del PSFV en su operatoria a baja carga, se realizará el cálculo de las pérdidas del sistema operando en simultaneo PSFV + BESS haciendo uso de los resultados validados por el coordinador para la operación en mínimo técnico del PSFV San Andres. Así, se podrá estimar las pérdidas en el colector del PSFV para el estado de carga correspondiente.

Las pérdidas en la red colectora quedan determinadas por las siguientes expresiones:

- Pérdidas estimadas en el colector del PSFV serán:

$$P_{\text{perd.colector}} = P_{\text{perd.colector}_{\text{PSFV}}} + P_{\text{pred.colector}_{\text{BESS}}}$$

Considerando que es posible obtener las pérdidas del colector del BESS en base a los parámetros registrados, se tiene:

Colector	Pbruta en Barra 23kV [kW]
CC1	120
CC2	110
CC3	120
P bruta colector	350

$$P_{\text{perd.colector}_{\text{BESS}}} = P_{\text{bruta bess}} - P_{\text{bruta colector bess}}$$

$$P_{\text{perd.colector}_{\text{BESS}}} = -0,3244 \text{ MW} - (-0,350 \text{ MW})$$

$$P_{\text{perd.colector}_{\text{BESS}}} = 0,0256 \text{ MW}$$

$$P_{\text{perd.colector}_{\text{PSFV}}} = 0,105 \text{ MW}$$

$$P_{\text{perd.colector}_{\text{PSFV+BESS}}} = 0,0794 \text{ MW}$$

(se resta la potencia del colector del BESS por la dirección del flujo)

$$P_{\text{perd central}} - P_{\text{perd.colector}} = P_{\text{perd.trafo}}$$

El resultado de la utilización de los valores del estudio de potencia mínima del parque para la estimación de las pérdidas de la central en modo conjunto no es satisfactorio, debido a que la pérdida en la red colectora declarada para el mínimo técnico del parque en el documento referido al "DE 05519-18" y el uso de los valores de potencia de SSAA declarado, resultan incongruentes con las pruebas y los registros obtenidos. Se recomienda considerar como válidos los estudios realizados en una primera entrega donde la simulación del PSFV+BESS mediante Power Factory resultaba técnicamente representativa de lo visto durante los ensayos.

10.1.5 Resumen de resultados

Conforme a lo anterior, los parámetros de mínimo técnico del PSFV San Andrés + BESS en modo carga, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13. Resumen de resultados – Mínimo técnico PSFV San Andrés.

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
PSFV + BESS San Andrés (Modo carga)	0,8567	0,4272	0,0185	0,43

Cabe aclarar que los valores de potencia “negativos” que se observan en los resultados de esta sección se deben a una orientación opuesta del flujo de potencia. El flujo de carga del BESS posee sentido contrario al del PSFV que aporta potencia al sistema. Con lo cual, en el neto de cálculos, hay que considerar la direccionalidad de cada aporte para obtener resultados lógicos.

11. MINIMO TÉCNICO OPERACIÓN CONJUNTA PSFV + BESS EN MODO DESCARGA

11.1. Resultados obtenidos

El ensayo se realizó de forma tal en la que se alcancen simultáneamente los dos mínimos técnicos en simultáneo, tanto el del parque solar como del BESS. El mínimo técnico declarado para el PSFV es de 0,8 MW en el POI con el BESS sin inyectar o absorber potencia activa, con lo cual se ajustó en primera instancia el setpoint manual a nivel inversor del parque para alcanzar este mínimo técnico, ya que de forma convencional en el SCADA de planta el mínimo setpoint admisible es de 4 MW. Alcanzado el despacho de 0,8 MW del PSFV, se procedió a dar consigna al BESS de 0,25 MW, valor en el cual se alcanzó el mínimo técnico estable en modo descarga.

En la siguiente tabla se muestra la fecha y hora de realización de esta prueba:

Tabla 14. Mínimo técnico PSFV + BESS Modo descarga.

Fecha	25/06/2024
Inicio de la prueba [hh:mm:ss]	15:34:40
Finalización de la prueba [hh:mm:ss]	16:00:59

En el siguiente gráfico se muestra el resultado de la prueba:

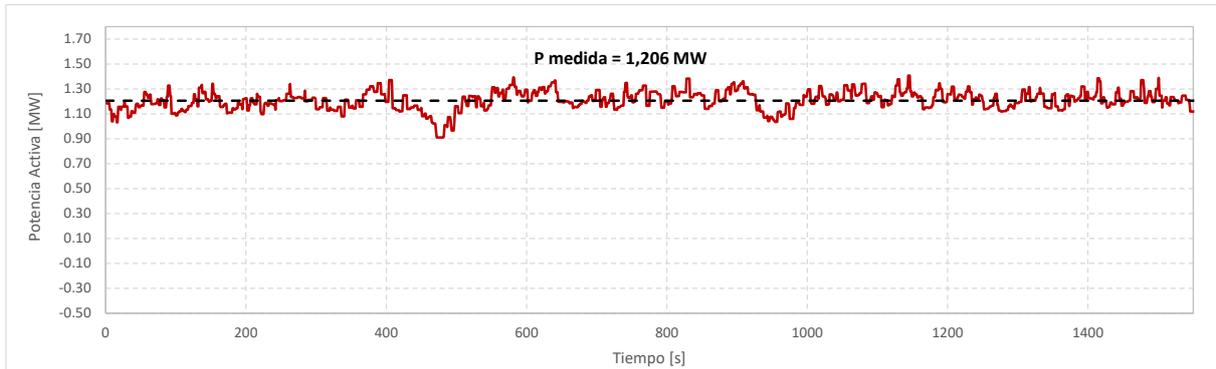


Gráfico 38. Potencia neta en el POI.

En el Gráfico 28 se puede observar la potencia seteada en los inversores del PSFV en [%] para poder alcanzar el mínimo técnico declarado de 0,8 MW.

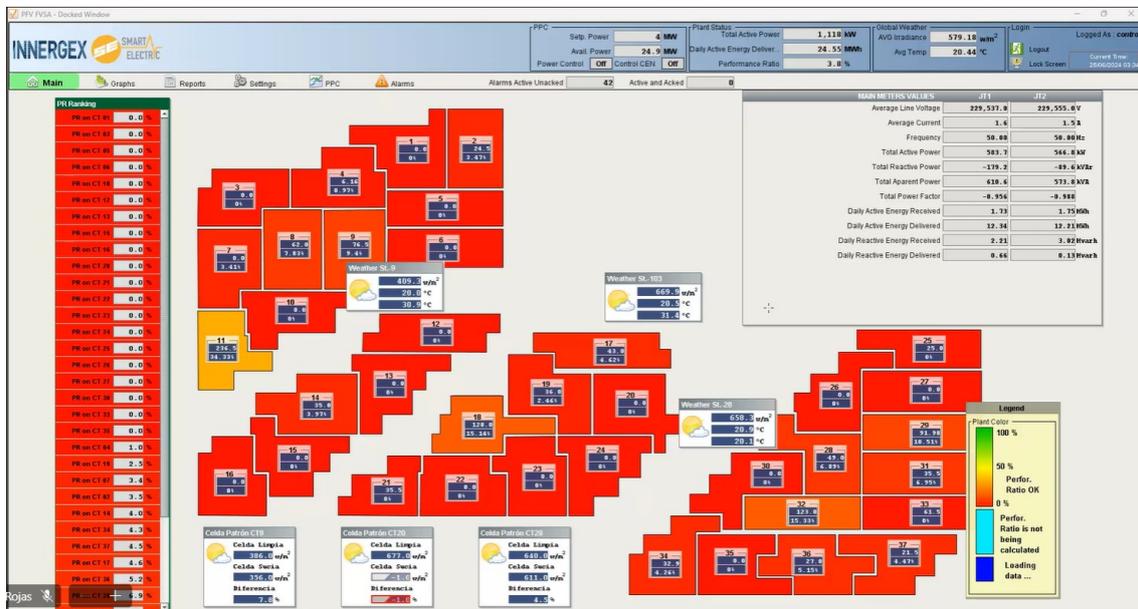


Gráfico 39. Despacho de inversores del PSFV San Andrés.

Adicionalmente en el Gráfico 29 al Gráfico 31 se pueden observar los despachos de los inversores del BESS San Andrés durante las pruebas.



Gráfico 40. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico conjunto. Colector 1.



Gráfico 41. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico conjunto. Colector 2.



Gráfico 42. Estado de inyección de inversores durante el ensayo de mínimo técnico conjunto. Colector 3.



Gráfico 43. SSAA del BESS

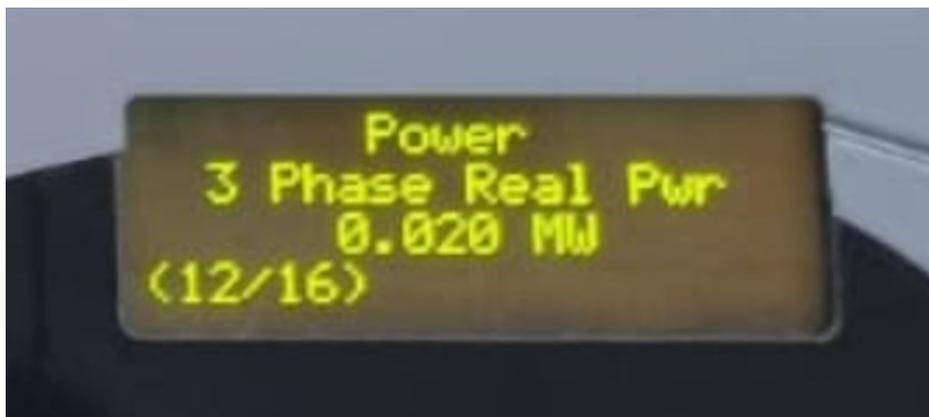


Gráfico 44. Servicios de iluminación y comunes.

La potencia de servicios auxiliares correspondiente al PSFV no se tiene como registro, debido a que no es visible en el SCADA, se considera en base a lo expuesto en la sección 10 y a lo identificado en el Gráfico 34 que la potencia de SSAA en mínimo técnico del PSFV es de 270 KW.

11.1.1 Potencia Neta

Como puede visualizarse en el Gráfico 27 la potencia neta inyectada en el punto de

conexión fue de 1,206 MW, por lo tanto:

$$P_{neta} = 1,206 \text{ MW}$$

11.1.2 Potencia Bruta

Al no poseer medición de potencia de los inversores (solo se conocen porcentajes de operación de los que no tenían inconvenientes de comunicación), se considerará la potencia bruta inyectada de los inversores a la declarada en el informe de mínimo técnico asociado a la carta "DE 05519-18".

$$P_{bruta_{PV}} = 1,2 \text{ MW}$$

En cambio, la potencia bruta del BESS se obtiene como la sumatoria de la potencia individual del sistema de colectores del BESS en su extremo de CTs. Esta potencia si fue registrada (Gráfico 40, Gráfico 41 y Gráfico 42) y suma un total de:

Circuito colector	Inversor	Pbruta [kW]
CC1	ACI1+ACI2	40,3
	ACI3+ACI4	38,1
	ACI5+ACI6	38,5
	ACI7+ACI8	37,6
	ACI9+ACI10	36
CC2	ACI11+ACI12	35,9
	ACI13+ACI14	37,5
	ACI15+ACI16	38,4
	ACI17+ACI18	40,3
CC3	ACI19+ACI20	40,1
	ACI21+ACI22	37,6
	ACI23+ACI24	38,5
Pbruta		458,8

$$P_{bruta_{BESS}} = P_{col_1} + P_{col_2} + P_{col_3} = 0,4588 \text{ MW}$$

La potencia bruta del conjunto está dada por:

$$P_{bruta} = P_{bruta_{PV}} + P_{bruta_{BESS}} = 1,2 \text{ MW} + 0,4588 \text{ MW}$$

$$P_{bruta} = P_{bruta_{PV}} + P_{bruta_{BESS}} = 1,6588 \text{ MW}$$

11.1.3 Potencia de los servicios auxiliares

La potencia de Servicios Auxiliares para esta condición operativa corresponde al valor observado durante las pruebas de los SSAA tanto de los PV como del BESS:

$$P_{SSAA} = P_{SSAA_{PV}} + P_{SSAA_{BESS}}$$

Para el consumo de los servicios auxiliares del sistema BESS se observó el valor dado por el PPC como se muestra en el siguiente gráfico:



Gráfico 45. Consumo de servicios auxiliares del sistema BESS en condición de mínimo técnico en modo descarga.

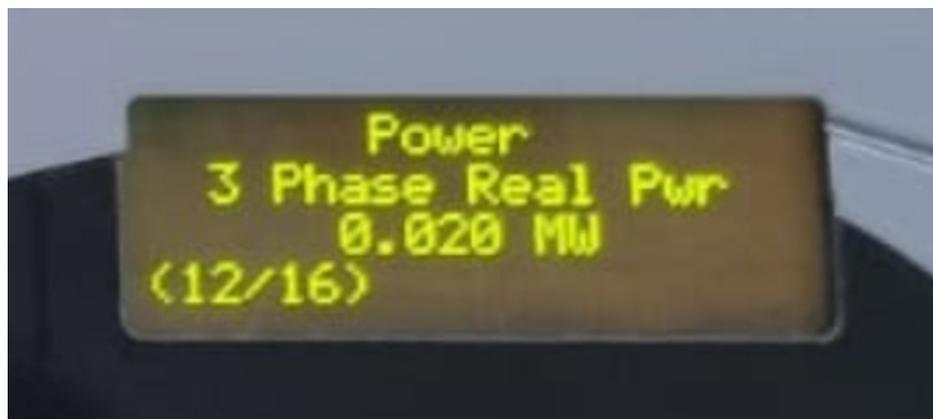


Gráfico 46. Servicios de iluminación y comunes.

En consumo de auxiliares del PSFV se considera de 270 kW como se comentó en el apartado anterior.

$$P_{SSAA\ pfv+bess} = 0,4464\ MW$$

11.1.4 Potencia de pérdidas de la central

La expresión para el cálculo de la potencia de pérdidas de la central se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} P_{perd\ central} &= P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA} \\ P_{perd\ central} &= 1,6588\ MW - 1,206\ MW - 0,4464\ MW \\ P_{perd\ central} &= 0,0064\ MW \end{aligned}$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal (Ptrrafo).
- Pérdidas en la red colectora de MT (Pcolector).

Considerando las pérdidas del colector como la suma de las perdidas en los colectores del sistema BESS y del PSFV (cada cual, con su dirección correspondiente, puesto que el BESS se encontró en modo carga por lo tanto tomando potencia de la red y el PSFV inyectando potencia a la red)

$$P_{perd.colector} = P_{perd.colector\ PSFV} + P_{perd.colector\ BESS}$$

Así mismo, las pérdidas en el transformador de potencia resultan:

$$P_{perd.trafo} = P_{perd.central} - P_{perd.colector}$$

Al utilizar los valores de mínimos técnicos asociados a ensayos anteriores ya declarados y a la falta de mediciones reales de los SSAA del PSFV, no es posible desagregar las pérdidas correctamente, porque el valor que se observa de pérdidas para toda la central es demasiado bajo y resultaría en valores de sentido opuesto para las pérdidas calculables en el transformador. Esto mismo se verificó en la sección 10.

Tabla 15. Resumen de resultados – Mínimo técnico PSFV San Andrés.

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
PSFV + BESS San Andrés (Modo carga)	1,6588	0,4446	0,0064	1,206

12. CONCLUSIONES

- Dada una potencia mínima neta de **0,0500 MW** en el punto de conexión del BESS PSFV San Andrés (barra de 220 kV de la SE PV San Andrés) se determinó que mediante una generación bruta de **0,5411 MW** (con un inversor en funcionamiento) es posible alimentar las pérdidas de la central y los servicios auxiliares. Este valor se determinó enviando a pausa a pausa los inversores salvo uno al cual se lo comandó desde el PPC para obtener en el POI una potencia lo más próxima posible a 0 MW.
- Con el sistema BESS en modo descarga (sin el PV) dada la mínima consigna en el punto conexión (tal que todos los inversores permanecieran en funcionamiento) de **0,25 MW** y con ello la obtención de **0,0 MW en el POI (Pneta)**, se determinó una generación bruta de **0,3669 MW** para dicha condición operativa, tal que se pueda abastecer las pérdidas en la central y los servicios auxiliares.
- Con el sistema BESS en modo carga (sin el PV) dada la mínima consigna en el punto conexión (tal que todos los inversores permanecieran en funcionamiento) de **-0,5 MW** y con ello la obtención de **-0,56 MW en el POI (Pneta)**, se determinó una generación bruta de **-0,1625 MW** para dicha condición operativa, tal que se pueda abastecer las pérdidas en la central y los servicios auxiliares.
- Operando la central con generación solo del PSFV (sin el BESS), la potencia mínima neta en el punto de conexión es de **0,8 MW** para una generación bruta de **1,2 MW** de los inversores del PV, según lo observado en el informe de mínimo técnico aprobado por el coordinador.
- En el caso de operación conjunta (PSFV + BESS en modo carga) se determinó que dada una mínima consigna en el punto de conexión (que asegura la operación estable) de **0,43 MW (Pneta)**, la generación bruta es de **0,8567 MW**.

- En el caso de operación conjunta (PSFV + BESS en modo descarga) se determinó que dada una mínima consigna en el punto de conexión (que asegura la operación estable) de **1,206 MW** (Pneta), la generación bruta es de **1,6588 MW**.

El resultado final es presentado en las siguientes tablas:

Tabla 16. Parámetros de Potencia Mínima técnica a nivel inversor.

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
BESS PSFV San Andrés	0,5411	0,2024	0,2887	0,0500

Tabla 17. Parámetros de Potencia Mínima técnica para la central completa.

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
BESS PSFV San Andrés (modo carga)	-0,165	0,315	0,0825	-0,56
BESS PSFV San Andrés (Modo descarga)	0,3669	0,1172	0,2497	0,0
PSFV + BESS San Andrés (Modo carga)	0,8567	0,4272	0,0185	0,43
PSFV + BESS San Andrés (Modo descarga)	1,6588	0,4446	0,0064	1,206

Este consultor recomienda la revisión de los informes asociados al "DE 05519-18" ya que en esta segunda entrega del informe, haciendo uso de los valores declarados por el informe de mínimo técnico del PSFV San Andrés, no se llegó a resultados lógicos ni esperables en cuando a las pérdidas del parque en operación conjunta, mientras que los resultados adaptados al estudio de flujo de carga realizado con el modelo de VMD del parque y haciendo una suposición de la potencia de servicios auxiliares acorde a lo informado por el personal de planta, las simulaciones fueron lógicas y satisfactorias.

Anexo

1. Antecedentes Técnicos, Round Trip Efficiency

Appendix G to
BESS Supply Agreement

Performance Guarantee

1. Performance Guarantees

Seller guarantees that the Project will meet the Performance Guarantees specified in Table 1 below as measured in accordance with [Appendix F](#) and the Final Test Plan developed in accordance with [Appendix G](#).

Table 1: Performance Guarantees

Performance Guarantee	Guaranteed Performance Threshold for Final Acceptance	Minimum Performance Threshold for Provisional Acceptance
Energy Capacity Guarantee	175MWh AC	140MWh AC
Power Capacity Guarantee	35MW	31.5MW
Round Trip Efficiency Guarantee (AC)	86.5%	86%

As a condition to achieving Provisional Acceptance, Seller must successfully run the Performance Test applicable to each of the foregoing Performance Guarantees and achieve the applicable Minimum Performance Threshold for Provisional Acceptance for each such Performance Guarantee as set out in Table 1 above. If, pursuant to a successfully run Acceptance Test for the Project, Seller fails to achieve the Minimum Performance Threshold for Provisional Acceptance applicable to any of the Performance Guarantees, then, subject to the retesting provisions and limitations set forth in [Appendix F](#), Seller shall pay Provisional Acceptance LDs as set forth in [Appendix O](#) until such time the Minimum Performance Threshold for Provisional Acceptance is achieved for all of the Performance Guarantees.

As a condition to achieving Final Acceptance, Seller must successfully run the Performance Test applicable to each of the foregoing Performance Guarantees and achieve the applicable Guaranteed Performance Threshold for Final Acceptance for each such Performance Guarantee as set out in Table 1 above. If, pursuant to a successfully run Acceptance Test for the Project, Seller achieves the Minimum Performance Threshold for Provisional Acceptance applicable to each Performance Guarantee but fails to achieve the Guaranteed Performance Threshold for Final Acceptance applicable to any of the Performance Guarantees, then, subject to the retesting provisions and limitations set forth in [Appendix F](#), Seller shall pay Final Acceptance LDs as set forth in [Appendix O](#) until such time the Guaranteed Performance Threshold for Final Acceptance is achieved for all of the Performance Guarantees.

If, at any time from the date of Final Acceptance to the earlier of (i) such date that is twenty (20) years from the date of Final Acceptance or (ii) upon reaching 7,300 Cumulative Cycles (the “Guarantee Period”), the Energy Capacity Guarantee, the Power Capacity Guarantee or the Round Trip Efficiency Guarantee fail to satisfy the thresholds set forth in [Sections 2.2, 2.3 or 2.4](#), respectively, then the provisions of [Section 2.1](#) of this [Appendix G](#) shall apply, unless Buyer, in its sole discretion, accepts to receive from Seller liquidated damages in an amount to be mutually accepted and agreed by Seller and Buyer in lieu of the application of the provisions of [Section 2.1](#) of this [Appendix G](#). For greater certainty, if Seller and Buyer fail to agree on any such liquidated damages, then the provisions of [Section 2.1](#) of this [Appendix G](#) shall apply.

2. Energy Capacity Guarantee, Power Capacity Guarantee and Round-Trip Efficiency Guarantee Post Final Acceptance

2.1 General

Seller guarantees the Energy Capacity Guarantee, Power Capacity Guarantee and Round-Trip Efficiency Guarantee set forth in this Article 2 for the Guarantee Period. If it is determined during Buyer's performance testing (as described herein) that the measured values do not satisfy the guarantees set forth in this Article 2, then Seller's sole and exclusive liability and Buyer's sole and exclusive remedy for any shortfall shall be the provision of additional equipment by Seller, to be installed and Commissioned by Buyer, capped at a maximum amount of twenty percent (20%) of the Contract Price for years 1-5 of the Guarantee Period; fifteen percent (15%) of the Contract Price for years 6-10 of the Guarantee Period; and ten percent (10%) of the Contract Price for years 11-20 of the Guarantee Period. For clarity, (i) if the applicable cap is reached in any given year during the Guarantee Period, there is no further guarantee pursuant to this Section 2; (ii) for purposes of determining application of the cap, the additional equipment is valued at the then applicable price Seller would typically sell such additional equipment; and (iii) Seller's obligations under this Section 2.1 is further capped by, and subject to, the Contract Price cap of Section 23(a) of the Contract.

In the event a performance test described under this Section 2 demonstrates a shortfall in a guarantee, Seller shall present a proposed plan to Buyer within five (5) Business Days to provide commercially reasonable efforts to remedy the shortfall.

In furtherance of this guarantee, Seller shall:

- provide a project manager to administer the check and review of the system data supplied as contractually specified;
- provide resources to facilitate and manage the need of a potential remedy; and
- reimburse Buyer for the cost of the performance test if such test demonstrates a failure to meet the performance guarantee.

As a condition to these guarantees, Buyer shall:

- mutually agree with Seller on a third-party performance tester;
- provide system data for Seller review on a quarterly calendar basis;
- provide real time monitoring data on a case-by-case basis to Seller during the Guarantee Period to facilitate troubleshooting;
- provide Seller with thirty (30) days written notice prior to conducting any performance testing on the Project; such performance testing not to be conducted more than once per calendar year.
- bear the responsibility of the performance test for the validation of guarantees, unless such test demonstrates a failure to meet the performance guarantee; and
- supply Seller with all test results and data up to the time the performance test was conducted.

In event that Buyer and Seller execute a separate Long Term Services Agreement ("LTSA") relating to the Project during the guarantee term, Seller shall grant Buyer a credit of Four Hundred Forty-Eight Thousand US Dollars (\$448,000.00), with such credit being reduced, pro rata, on an annual basis during the Guarantee Period. As an example, if Buyer executes an LTSA with Seller for the project in year 3 of the Guarantee Period, Buyer would receive a credit of \$380,800 toward the LTSA Contract Price.

2.2 Energy Capacity Guarantee

Seller guarantees the following energy capacity values by time or by cycle count, to be measured no more than once per calendar year, following Commissioning Completion, with the lesser value of the Guaranteed Energy Capacity based on Time Post Final Acceptance or Cumulative Cycle Count being the Guaranteed Energy Capacity.

To determine the then current Guaranteed Energy Capacity value, both the Time Post Final Acceptance and the Cumulative Cycle Count must be considered. The Guaranteed Energy Capacity value at a given moment is the lower value in the table below corresponding to the Cumulative Cycle Count or the Time Post COD.

As an example, consider a system that is 7.5 years post COD with a current Cumulative Cycle Count of 4000. The Guaranteed Energy Capacity value associated with the system age would be 146.3MWh and the value associated with the Cumulative Cycle Count would be 140.9MWh. The lower of these two values, 140.9MWh, would be the Guaranteed Energy Capacity at that point in time.

Table 2: 20-Year Energy Capacity Guaranteed Values

Time Post COD (years)	Cumulative Cycle Count	Guaranteed Energy Capacity (MWh)
< 1	365	163.5
< 2	< 730	159.1
< 3	< 1095	156.2
< 4	< 1460	153.2
< 5	< 1825	150.6
< 6	< 2190	149.2
< 7	< 2555	147.8
< 8	< 2920	146.3
< 9	< 3285	144.9
< 10	< 3650	142.8
< 11	< 4015	140.9
< 12	< 4380	138.5
< 13	< 4745	136.4
< 14	< 5110	134.3
< 15	< 5475	132.0
< 16	< 5840	129.4
< 17	< 6205	126.5
< 18	< 6570	123.6
< 19	< 6935	120.6
< 20	< 7300	117.7

2.3 Power Capacity Guarantee

The Guaranteed Power Capacity will be greater than or equal to 35 MW for 20 years following Final Acceptance or until the Cumulative Cycle Count reaches 7300, whichever occurs sooner.

2.4 Round Trip Efficiency Guarantee

The Guaranteed Round Trip Efficiency (RTE) will be greater than or equal to 86.5% for 20 years following Final Acceptance or until the Cumulative Cycle Count reaches 7300, whichever occurs sooner.